

ЭПТ 2015



ACED 2015

УДК 621.3.07

4.5. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СЛЕДЯЩИХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С АДАПТИВНЫМ ЗАДАТЧИКОМ ИНТЕНСИВНОСТИ

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF SERVO DRIVES WITH ADAPTIVE INTENSITY CONTROL DEVICE

Даденков Дмитрий Александрович, старший преподаватель каф. «Микропроцессорных средств автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Россия, 614000, г. Пермь, ул. Комсомольский пр., 29. E-mail: dadenkov@mail.ru, Тел.: +79282949082

Dmitry A. Dadenkov, senior lecturer of the Department of microprocessor-based automation Perm national research polytechnic university, 614000, Komsomolskiy Avenue, 29, Perm, Russia, E-mail: dadenkov@mail.ru, Ph.: +79282949082

Аннотация: Рассмотрена концепция построения систем управления следящих электроприводов с использованием динамических задатчиков интенсивности, адаптивных к изменению внешних задающих воздействий. Приведены этапы синтеза адаптивного задатчика интенсивности 3-го порядка и его реализация в интегрированной среде визуального проектирования *MexBIOS Development Studio*. Представлены результаты исследований разработанной системы управления на специальной экспериментальной установке, которые подтверждают эффективность предложенного подхода в разработке следящих систем управления электроприводом.

Abstract: The concept of creation of control system of servo electric drives with use dynamic intensity control device, the adaptive to change of the external setting influences is considered. Stages of synthesis of the adaptive intensity control device of the 3rd order and its implementation in the integrated environment of visual design of *MexBIOS Development Studio* are given. Results of researches of the developed control system on special experimental laboratory stand, which confirm efficiency of the offered approach in development of servo drive, are provided.

Ключевые слова: следящий электропривод, адаптивный задатчик интенсивности, дискретный регулятор состояния, фазовые переменные, экспериментальная установка, добротность

Key words: servo electric drive, the adaptive intensity control device, the discrete regulator of a state, phase variables, the experimental stand, quality factor.

Современные следящие системы управления электроприводами (СУЭП) ориентированы на реализацию предельного быстродействия обработки задающих и возмущающих воздействий. Это обусловлено с одной стороны растущими требованиями производительности технологических процессов с учетом заданных ограничений на значения переменных процесса, а с другой – выросшими возможностями программно-аппаратной реализации сложных быстродействующих алгоритмов управления на микропроцессорной основе.

Предлагаемый подход к построению следящих СУЭП основан на применении адаптивных к параметрам внешней среды динамических задатчиков интенсивности на входе замкнутых СУЭП, обеспечивающих формирование оптимальных по быстродействию изменений именно фазовых переменных [1-3]. Параметром внешней среды будем считать заведомо

неизвестное во времени изменение положения рабочего органа, определяемое датчиками системы локации, технического зрения, иными внешними подсистемами или оператором.

Для решения поставленных задач предлагается осуществить декомпозицию структуры системы управления на две подсистемы, решающие по сути одну задачу оптимального по быстродействию управления, но с разделением функций (рис. 1). Замкнутая СУЭП, как первая подсистема, решает задачу финитного управления линейных дискретно-непрерывных систем управления с постоянным периодом дискретного управления [4, 5]. Адаптивный задатчик интенсивности (АЗИ), как вторая подсистема, осуществляет функцию формирования оптимального по критерию быстродействия вектора фазовых переменных электропривода с ограничением их на допустимых уровнях.

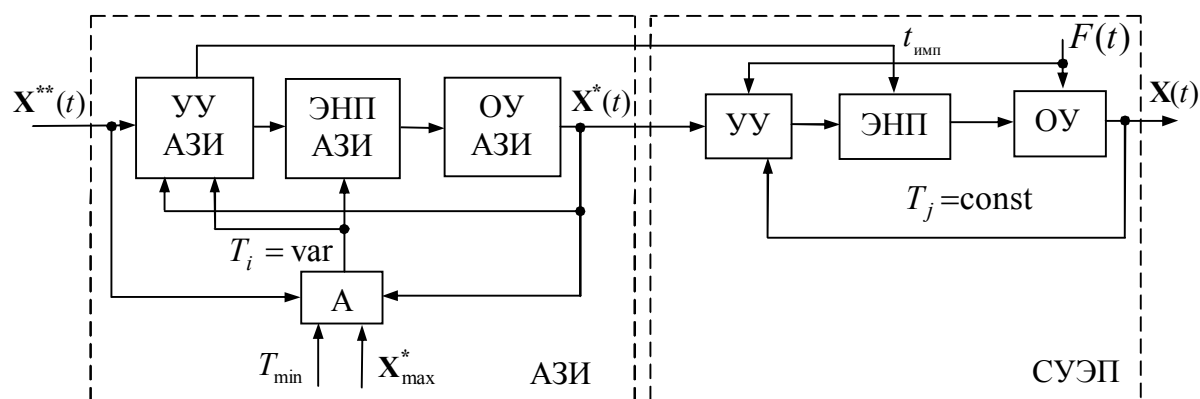


Рис. 1. Функциональная структура следящей СУЭП с адаптивным задатчиком интенсивности

На рис. 1 приняты следующие обозначения функциональных блоков: ОУ АЗИ – объект управления АЗИ (в общем случае это интегратор первого-четвертого порядка), ЭНП АЗИ – экстраполятор нулевого порядка с переменным тактом дискретизации, А – адаптер АЗИ, УУ АЗИ – устройство управления АЗИ, ОУ – электромеханический объект управления, УУ – устройство управления СУЭП, ЭНП – экстраполятор нулевого порядка СУЭП.

АЗИ представляет собой замкнутую по вектору состояния дискретно-непрерывную систему финитного управления [4, 5]. В качестве объекта управления в самой АЗИ используем интегратор третьего порядка, что отражает интегро-дифференцирующие связи четырех заданных фазовых переменных СУЭП – положения $\varphi^*(t)$, скорости $\omega^*(t)$, ускорения $\varepsilon^*(t)$ и рывка $\rho^*(t)$.

Векторы фазовых переменных СУЭП и АЗИ (см. рис. 1) в данном случае могут быть представлены в виде:

$$\mathbf{X}(t) = \begin{bmatrix} \varphi(t) & \omega(t) & \varepsilon(t) & \rho(t) \end{bmatrix}^T \quad (1)$$

$$\mathbf{X}^*(t) = \begin{bmatrix} \varphi^*(t) & \omega^*(t) & \varepsilon^*(t) & \rho^*(t) \end{bmatrix}^T \quad (2)$$

Период дискретного управления в АЗИ является нелинейной функцией приращения задающего воздействия в некоторые дискретные моменты времени и предельно допустимого управления, т.е. параметров внешней среды. Для принятого порядка АЗИ анализ соотношений относительных изменений фазовых переменных в переходных процессах позволил получить нелинейные зависимости переменного периода управления в дискретные моменты времени от величины изменения задающего воздействия и ограничения управления. В частности, для структуры АЗИ третьего порядка:

$$T_i = \sqrt[3]{\frac{\Delta x_{1,i}^{**}}{0,5 U_m}} \quad (3)$$

Адаптер АЗИ представляет собой нелинейный преобразователь погрешности слежения, формирующий значение периода управления в зависимости от режима ее функционирования в линейной или нелинейной зонах и реализует следующую логическую функцию:

$$T_i = \begin{cases} T_{\min}, & T_i < T_{\min} \\ T_i(\Delta x_{1,i}^{**}, \mathbf{X}_{\max}), & T_{\min} \leq T_i \leq T_{\max} \\ T_{\max}(\Delta x_{1,i}^{**}, \mathbf{X}_{\max}), & T_i > T_{\max} \end{cases} \quad (4)$$

где $\Delta x_{1,i}^{**}$ – ошибка слежения в моменты изменения задания выходной переменной.

Дискретное финитное управление состоянием АЗИ в соответствие с (3, 4) является нелинейной функцией переменного периода:

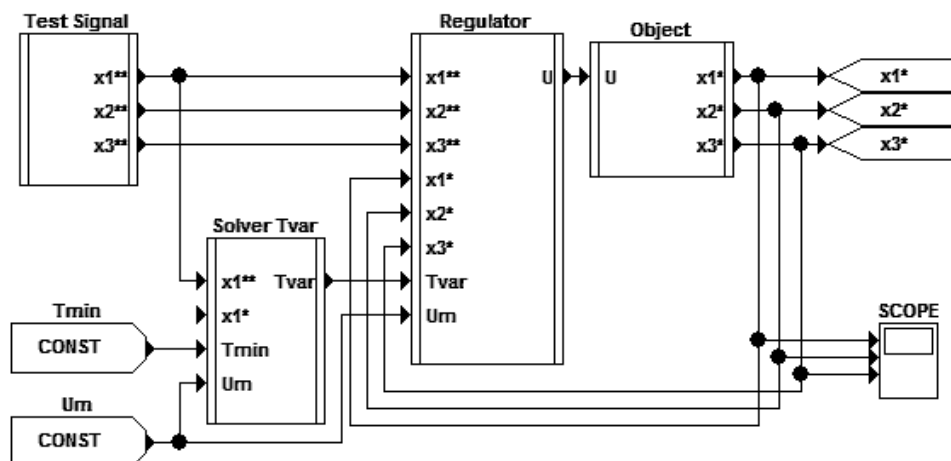
$$U(T_i) = \beta(T_i) \Delta \mathbf{X}_i^{**}, \quad (5)$$

$$\Delta \mathbf{X}_i^{**} = \mathbf{X}_i^{**} - \mathbf{X}_i^* = \begin{bmatrix} \Delta x_{1,i}^{**} & \Delta x_{2,i}^{**} \end{bmatrix}^T \quad (6)$$

Ниже представлены результаты синтеза для АЗИ третьего порядка:

$$\beta(T_i) = \begin{bmatrix} 1/T_i^3 & 2/T_i^2 & 1,833/T_i & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Регулятор АЗИ в соответствие с (5) имеет в общем случае переменную структуру, адаптирующуюся к работе в режимах «малых» и «больших» отклонений координат, обеспечивая предельное по быстродействию формирование выходных координат АЗИ в условиях внешне заданных ограничений фазовых переменных.

Рис. 2. Схема реализации АЗИ в среде *MexBIOS Development Studio*

На рисунке 2 приведена схема реализации АЗИ в интегрированной среде программирования *MexBios Development Studio*.

На схеме (рис. 2) приняты следующие обозначения модулей-подпрограмм: *Test Signal* – модуль формирования задающих воздействий, в котором заданы дискретные моменты времени и функция изменения задающих воздействий; *Solver Tvar* – модуль вычисления переменного периода управления АЗИ в соответствии с выражением (3); *Object* – объект управления АЗИ, представляющий собой идеальный интегратор 3-го порядка. *Regulator* – регулятор АЗИ, представляющий собой дискретный регулятор состояния с переменным периодом управления, формирующий оптимальное управление АЗИ в соответствии с выражениями (5-7).

Для проведения натурных исследований [6] была использована экспериментальная установка управления электроприводом (рис. 3) разработки НПОФ МехатроникаИРО г. Томск. Установка включает в себя двухинверторный комплект типа *MCB-04* с процессорной платой *MChip-176*, процессор *DSP TMS320F28335* с плавающей запятой и интерфейсами *USB* и *RS-232* для загрузки программы и передачи данных на ПК, агрегат из спаренных асинхронного двигателя (3 фазы, 220 В) и двигателя постоянного тока *F5539* (24 В) с энкодером (2500 дискрет/оборот). Стенд имеет возможность программирования в среде программирования *MexBIOS Development Studio* с изменением структуры и параметров системы управления электроприводом.

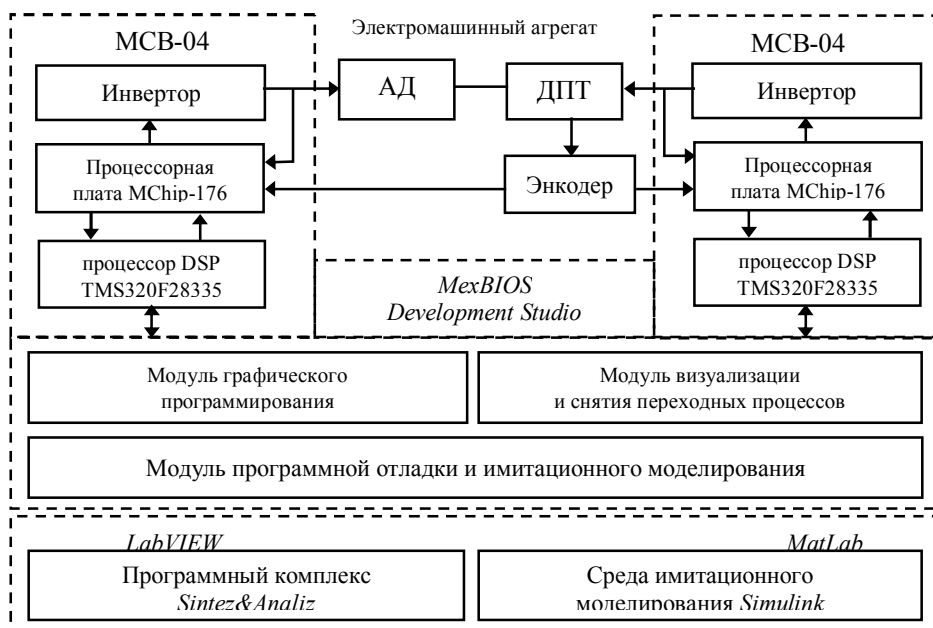


Рис. 3. Архитектура экспериментальной установки

Оценка показателей качества СУЭП проводилась при отработке типовых линейных и параболических тестовых задающих воздействий, общепринятых для следящих систем [7]. При этом в качестве критерия динамической точности рассматривались добротности СУЭП по скорости и ускорению. Для оценки добротности по скорости и ускорению использовались соответственно формулы:

$$D_{\omega} = \frac{\omega_3}{\Delta\varphi_{уст}}, \quad D_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_3}{\Delta\varphi_{уст}}$$

где ω_3 , ε_3 – заданные постоянные «заводки» по скорости и ускорению; $\Delta\varphi_{уст}$ – установившееся значение динамической ошибки отработки заданного положения следящей ЭМСУ

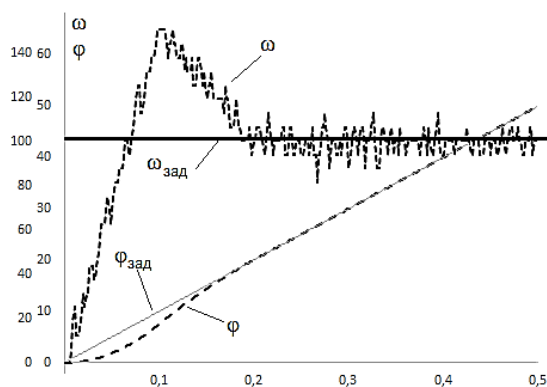


Рис. 4. Реакция следящего электропривода с АЗИ на линейное изменение задания положения

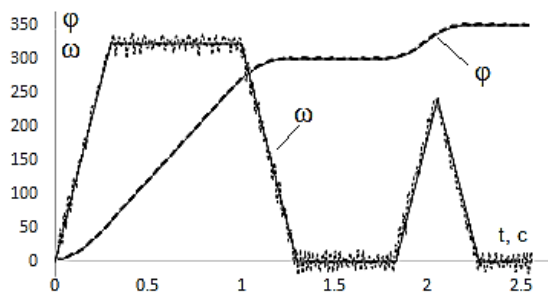


Рис. 5. Реакция следящего электропривода на ступенчатые приращения задания в «большом» при ограничениях ускорения и скорости

На рисунке 4 приведены реакции следящего электропривода установки на линейное изменение задания положения в СУЭП с АЗИ при постоянной «заводке» по скорости 100 рад/с и значении $T_{min}=0,1$ с, на рисунке 5 – приведены реакции АЗИ и электропривода на ступенчатые приращения задания положения (300 рад при $t = 0$ с и 50 рад при $t = 1,8$ с) при ограничениях старших

фазовых переменных: скорости на уровне 325 рад/с, ускорения – 1300 рад/с².

Представленные результаты исследований разработанных СУЭП с АЗИ показали, что добротности позиционно-следящих систем по скорости, рассчитанные в соответствии с выражениями (8), имеют значения, по крайней мере, на порядок выше, чем в аналогичной следящей микропроцессорной СУЭП с подчиненным регулированием координат. При этом динамическая погрешность отработки заданий положения в рабочих диапазонах не превышает 1 %, статическая – 0,05 %.

В результате проведенных исследований апробирован новый подход к построению предельных по быстродействию следящих систем управления с адаптивным к параметрам внешней среды задатчиком интенсивности, который реализует возможность ограничения на допустимом уровне фазовых переменных электропривода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Казанцев В.П., Даденков Д.А. Эталонные модели для систем управления фазовыми переменными технологических процессов и установок. Электротехнические комплексы и системы управления. 2014, №3. – с. 57-61.
2. Даденков Д.А., Казанцев В.П. Синтез электромеханических систем управления с нелинейной адаптивной эталонной моделью. РАЕ: Фундаментальные исследования, № 11-7. – с. 1466-1471.
3. Двойников Д.А., Зюзев А.М., Мазунин В.П. Моделирование быстродействующих систем управления электроприводами с упругостью в механизмах. Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике, 2012, № 1, с. 247-254.
4. Казанцев В.П., Петренко В.И. Синтез дискретных систем управления линейными объектами произвольного порядка // Информационные управляющие системы / Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 1995. – с. 99-105.
5. Казанцев В.П., Даденков Д.А. Синтез дискретно-непрерывных систем управления электроприводами с упругими связями // Электротехника, № 11, 2012. – с. 24а-28.
6. Петроченков А.Б., Франк Т., Ромодин А.В., Кычкин А.В. Полунатурное моделирование активно-адаптивной электрической сети. Электротехника, 2013, № 11. с. 60-63.
7. Гусев Н.В., Букреев В.Г. Системы цифрового управления многокоординатными следящими электроприводами: учебное пособие / Н.В. Гусев, В.Г. Букреев – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 213 с.